



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

HERMOSTO JA HERÄTEPOTENTIALIT:

Työohje Cadwell Cascade Sierra® Summit-laitteelle

Jenni Airaksinen

Annika Kuusisalo

Opinnäytetyö
Elokuu 2017
Bioanalytikkokoulutus



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Bioanalytikkokoulutus

AIRAKSINEN, JENNI & KUUSISALO, ANNIKA:

Hermosto ja herätepotentiaalit:

Työohje Cadwell Cascade Sierra® Summit-laitteelle

Opinnäytetyö 36 sivua

Elokuu 2017

Herätevastetutkimukset ovat osa kliinisen neurofysiologian tieteenalaa. Herätevastetutkimuksissa mitataan keskushermoston hermoratojen toimintaa antamalla tunto-, näkö- tai kuuloärsykeitä. Ärsykkeet aiheuttavat hetkellisen muutoksen hermoston sähköisessä jännitteessä. Jännitteen muutosta eli ärsykkeen aiheuttamaa vastetta mitataan elektrodeilla, joita kiinnitetään iholle pään alueelle kuulo- ja näkövasteita tutkittaessa. Tuntoherätevastetutkimuksissa antureita asetetaan myös raajojen, hartioiden, kaulan sekä niskan alueelle.

Opinnäytetyömme toimeksiantaja oli Pirkanmaan Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitoksen kliinisen neurofysiologian laboratorio (KNF). Työn tarkoituksena oli tuottaa kliinisen neurofysiologian laboratoriolle työohje uudelle herätevastetutkimuslaitteelle. Uusi laitemalli oli Cadwell Cascade Sierra® Summit 6-kanavaisella vahvistimella. Tavoitteena oli, että työohje helpottaa uusien työntekijöiden ja opiskelijoiden työskentelyä.

Opinnäytetyö toteutettiin toiminnallisena opinnäytetyönä eli se koostui raportista ja konkreettisesta tuotoksesta. Raportissa käsiteltiin ihmisen hermostoa, herätevastetutkimuksia sekä niiden mittalaitteistoa. Herätevastetutkimuksista käytiin läpi kuuloherätevastetutkimus (AEP), visuaaliset herätevastetutkimukset (VEP ja ERG) sekä somatosensoriset herätevastetutkimukset (SEP). Raportissa käytiin myös läpi hyvän työohjeen laatimista sekä toiminnallisen opinnäytetyön tekemistä.

Opinnäytetyön tuotos olivat työohjeet KNF:n herätevastetutkimuslaitteelle. Työohje koostui 23 sivusta. Siinä ohjeistettiin AEP-, SEP- ja VEP-tutkimusten suorittaminen sanallisesti ja havainnollistavia kuvia apuna käyttäen. Työohjeen raakaversio oli kahdesti KNF:llä koekäytössä ja sitä muokattiin henkilökunnan kommenttien perusteella. KNF:n fyysikko tarkasti työohjeen lopullisen version.

Asiasanat: kliininen neurofysiologia, herätevastetutkimus, herätepotentiaali, työohje, toiminnallinen opinnäytetyö

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Biomedical Laboratory Science

AIRAKSINEN JENNI & KUUSISALO ANNIKA:
Nervous System and Evoked Potential Studies:
Working Instructions for Cadwell Cascade Sierra® Summit Device

Bachelor's thesis 36 pages
August 2017

Evoked potential studies are part of clinical neurophysiology field of study. With evoked potentials one can measure the workings of neural pathways in the central nervous system by recording differences of potentials between two electrodes when neurons react to specific given stimuli.

The purpose of this study was to design working instructions for the clinical neurophysiology laboratory of Medical Imaging Centre and Pharmacy of Pirkanmaa Hospital District. The working instructions were made for evoked potential studies performed with Cadwell Cascade Sierra® Summit device with 6-channel amplifier. The intent of the working instructions was to help new workers and apprentices to better adapt to performing evoked potential studies.

The approach of this study was functional. The theoretical section explores the indications and the measuring methods of evoked potential studies. The empirical part consists of working instructions for the evoked potential measuring device. The working instructions were composed for auditory, visual and somatosensory evoked potential studies.

Key words: clinical neurophysiology, evoked potential, working instructions, functional study

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	OPINNÄYTETYÖN TAVOITE, TARKOITUS JA TEHTÄVÄT	8
3	TOIMINNALLINEN OPINNÄYTETYÖ	9
4	IHMISEN HERMOSTO	10
4.1	Keskushermosto.....	10
4.2	Ääreishermosto	11
4.3	Aktiopotentiaalit	13
5	HERÄTEPOTENTIAALI	14
5.1	Herätevastetutkimuksen laitteisto ja -mittaus	15
5.2	Herätevasteet ja niiden käsittely	17
5.3	Herätevasteiden tulkinta ja viitearvot	19
5.4	Mittauksen häiriötekijät ja virhelähteet	20
5.5	Herätevastetutkimuslaite Cadwell Cascade Sierra® Summit.....	21
6	HERÄTEVASTETUTKIMUKSET	23
6.1	Näköherätteet	23
6.1.1	Kuvio-VEP (Pt-VEP).....	24
6.1.2	Elektroretinografia (Pt-ERG).....	24
6.2	Kuuloherätteet (Pt-AEP).....	25
6.3	Tuntoherätteet (Pt-SEP).....	26
6.3.1	Yläraaja-SEP (Pt-SEP-Yr) ja Alaraaja-SEP (Pt-SEP-Ar).....	26
7	TYÖOHJEEN LAATIMINEN.....	28
8	OPINNÄYTETYÖPROSESSI.....	30
8.1	Tuotoksen kuvaus	31
9	POHDINTA.....	31
	LÄHTEET	34

ERITYISSANASTO

autonominen hermosto	tahdosta riippumaton hermosto, jakautuu sympaattiseen ja parasympaattiseen hermostoon
aktiopotentiaali	hermosolun kalvoa pitkin kulkeva sähköisen latauksen aalto
depolarisaatio	hermosolun lepopotentiaalin pieneneminen hetkellisesti
erbin piste	hermojuurten C5 ja C6 juurten yhtymäkohta plexusksen alla
hermovälittäjäaine	yhdiste, joka voi voimistaa tai estää hermosolun ja toisen solun välistä sähköistä signaalia, mm. adrenaliini, dopamiini, serotoniini
herätevaste	ärsykkeen tuottama hetkellinen sähköinen muutos hermoston toiminnassa
impedanssi	vaihtovirtavastus, jonka arvo kuvaa elektrodin ja ihon välistä kontaktia, johtavuutta
katekoliamiini	hermoston välittäjäaine
lepopotentiaali	hermosolun kalvolla vallitseva jännite-ero
somaattinen hermosto	tahdonalainen hermosto, esim. luustolihakset
sympaattinen hermosto	tahdosta riippumaton, kriisitilanteissa aktivoituva hermosto

LYHENTEET JA YKSIKÖT

AEP	Auditory Evoked Potential, auditiivinen herätevastetutkimus
EEG	elektroenkefalografia, aivosähkökäyrä
ENMG	elektroneuromyografia, hermosto-lihastutkimus
EP	Evoked Potential, herätevaste
ERG	Electroretinogram, elektroretinografia
KNF	Kliininen neurofysiologia
k Ω	(kilo)ohmi, sähkövastuksen eli impedanssin yksikkö
mV	(milli)voltti, jännitteen yksikkö
SEP	Somatosensory Evoked Potential, somatosensorinen herätevaste
VEP	Visual Evoked Potential, visuaalinen herätepotentiaali

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on herätevastetutkimukset ja työohjeen laatiminen uudelle herätevastetutkimuslaitteelle. Aihe saatiin Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitokselta, joka on Pirkanmaan sairaanhoitopiiriin kuuluva liikelaitos. Kuvantamiskeskus tuottaa radiologian, kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen sekä kliinisen neurofysiologian tutkimuksia ja diagnostisia palveluita klinikoille eri terveydenhuollon yksiköissä. (Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitos 2016.) Työohjeen laadimme kliinisen neurofysiologian (KNF) yksikön Cadwell Cascade Sierra® Summit-laitteelle.

Herätevastetutkimuksia tehdään kliinisen neurofysiologian laboratorioissa. Herätevastetutkimuksilla voidaan mitata keskushermoston hermoratojen toimintaa antamalla tunto-, näkö- tai kuuloärsykeitä. Ärsykkeet aiheuttavat hetkellisen muutoksen hermoston sähköisessä jännitteessä. (Nyrke 2006, 242.) Jännitteen muutosta eli ärsykkeen aiheuttamaa vastetta mitataan pintaelektrodeilla, joita kiinnitetään eri alueille korteksille, riippuen tutkittavasta vasteesta. Näkövasteet syntyvät okkipitaalisella aivokuorella, kuuloa aistitaan temporaalisesti brocan alueella ja tuntovasteita somatosensorisella aivokuorella. Raajoissa ja kehon muissa osissa on niin sanottuja väliaika-asemia, jotka kertovat stimuloinnin teknisestä onnistumisesta. Niihin laskettuja väliaikoja korteksille voidaan käyttää myös niin sanottujen kortikaalisten johtonopeuksien laskennassa, esimerkiksi C2 ja C7 tuntoherätteitä mitattaessa. (KNF-yksikkö 2016.)

Opinnäytetyön raporttiosuudessa käsitellään ihmisen hermostoa, herätevastetutkimuksia ja herätepotentiaalin mittausta sekä hyvän työohjeen laatimista. Halusimme kertoa alkuun tiivistetysti hermoston rakenteesta ja toiminnasta, sillä perustieto siitä on oleellista, jotta voi ymmärtää herätepotentiaalien syntymekanismit ja vasteiden merkityksen. Herätevastetutkimuksista käydään läpi auditiivinen herätetutkimus AEP, näköherätetutkimuksista VEP, kuvio-VEP ja ERG sekä somatosensorisista herätetutkimuksista ala- ja yläraaja-SEP. Valitsimme nämä tutkimukset kirjalliseen osuuteen, sillä niitä tehdään Tampereen yliopistollisen sairaalan (TAYS) KNF-yksikössä ja niistä laadimme myös työohjeet Cadwell Cascade Sierra Summit -laitteelle. Raportissa kerromme myös toiminnallisen opinnäytetyön tekemisestä ja pohdimme opinnäytetyöprosessimme sujumista.

Valitsimme opinnäytetyömme aiheen, sillä mielestämme kliininen neurofysiologia on yksi bioanalytiikan mielenkiintoisimmista erikoisaloista ja halusimme tehdä toiminnallisen työn. Työohjeen laatiminen on myös hyvin työelämälähtöistä, mikä tekee työskentelystä mielekkäämpää.

2 OPINNÄYTETYÖN TAVOITE, TARKOITUS JA TEHTÄVÄT

Opinnäytetyön tarkoituksena on laatia työohje klinisen neurofysiologian laboratorion uudelle Cadwell Cascade Sierra® Summit –laitteelle. Työohjeesta on tarkoitus tehdä kuvallinen ja selkeä. Työohjeessa käydään läpi erilaisten herätevastetutkimuksien suorittamisen koko työprosessi kuvien avulla. Opinnäytetyön kirjallisessa osuudessa perehdytään ihmisen hermostoon, herätevastetutkimuksiin ja niiden mittauslaitteistoon.

Tavoitteena on, että työohjeesta on apua uusien työntekijöiden ja harjoittelussa olevien opiskelijoiden perehdyttämisessä. Raporttiosio toimii heille tietopakettina herätevastetutkimuksista. Työohjeen on tarkoitus olla myös hyödyllinen vanhojen työntekijöiden perehdyttämisessä, kun työntekijä siirtyy tekemään herätevastetutkimuksia toiselta työpisteeltä.

Opinnäytetyön tehtävinä on:

- I. Perehtyä herätepotentiaali -tutkimuksiin
- II. Tutustua Cadwell Cascade Sierra® Summit -laitteeseen
- III. Laatia työohje työelämän tarkoituksiin

3 TOIMINNALLINEN OPINNÄYTETYÖ

Toiminnallinen opinnäytetyö on yksi vaihtoehto ammattikorkeakoulun tutkimukselliselle opinnäytetyölle ja se voi olla esimerkiksi ohje, ohjeistus tai opastus. Opinnäytetyö voidaan toteuttaa esimerkiksi portfoliona tai johonkin tilaan järjestettynä näyttelynä. Toiminnallinen opinnäytetyö on käytännön läheinen sekä työelämälähtöinen. (Vilka & Airaksinen 2003, 9-10.) Toiminnallinen opinnäytetyö tavoittelee työelämässä käytännön toiminnan ohjeistamista ja järjeistämistä (Lumme ym. 2006.).

Toiminnalliseen opinnäytetyöhön kuuluu raportin lisäksi myös tuotos, joka on yleensä kirjallinen. Raportista käy ilmi, mitä, miksi ja miten opinnäytetyötä on tehty. Siinä kerrotaan työprosessin kulusta sekä lopullisesta tuotoksesta. Tärkeää on myös, että opinnäytetyön tekijä arvioi omaa oppimistaan. (Vilka & Airaksinen 2003, 65.)

Toiminnallisen opinnäytetyömme tuotoksena on työohje, joka on laadittu Cadwell Cascade Sierra Summit® -laitteella tehtäviin herätevastemittauksiin. Opinnäytetyön toimeksiantajana on Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitoksen klinisen neurofysiologian yksikkö, joten tuotos suunnitellaan heidän hoitajiensa tarpeita vastaaviksi. Kliinisen neurofysiologian hoitajat hyödyntävät tuotosta työntekijöiden ja opiskelijoiden perehdytyksessä herätevastemittauksiin.

Selvityksen tekeminen toiminnallisessa opinnäytetyössä on tärkeää, sillä sen avulla saadaan suuntaa päätöksentekoon ja kerätään puuttuvaa lähdetietoa. (Vilka & Airaksinen 2003, 9, 62.) Selvityksen tekeminen näkyy teoreettisen lähestymistavan perusteltuna valintana sekä kriittisenä ja pohtivana suhtautumisena omaan tekemiseen ja kirjoittamiseen. (Lumme ym. 2006.) Opinnäytetyön tekijällä tulee olla tarpeeksi tietoa ja taitoa opinnäytetyön tekemiseen. (Vilka & Airaksinen 2003, 9, 62.) Opinnäytetyötä kirjoittaessa tulee miettiä myös sanomaa ja kohderyhmää. Käsitys kohderyhmästä muokkaa viestin sisältöä ja tapaa, jolla asia esitetään. (Mäkinen 2005, 28.)

4 IHMISEN HERMOSTO

Ihmisen hermosto koostuu keskus- ja ääreishermostosta. Keskushermostoon kuuluvat aivot ja selkäydin, ääreishermoston puolestaan muodostavat aivorungosta ja selkäytimestä lähtevät parilliset hermot. Selkäydin toimii kanavana, jota pitkin aistiärsykkeet pääsevät tuntereseptoreista hermoratoja pitkin aivoihin ja motoriset käskyt kuljetetaan aivoista luustolihaksiin. Hermot lähtevät selkäytimestä tyypillisesti pareittain, mikä tarkoittaa sitä, että selkäytimestä haarautuu ventraalinen eli etummainen ja dorsaalinen eli takimmainen haara. Etummainen haara tyypillisesti koostuu motorisista aksoneista ja takimmainen haara sensorisista aksoneista. (Derrickson & Tortora 2009, 460, 468.)

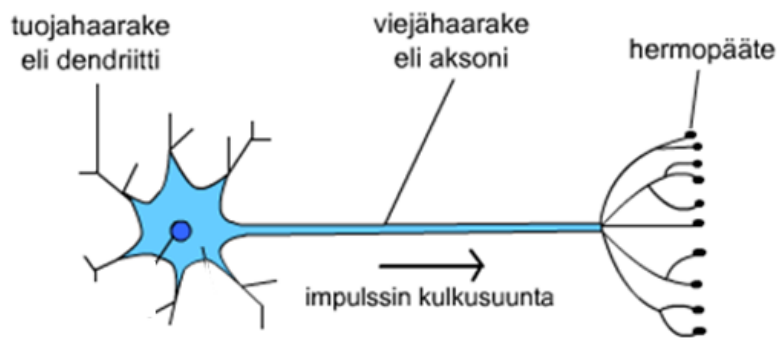
Hermokudos muodostuu hermosoluista sekä hermotukisoluista eli gliasoluista. Gliasolujen yleisin muoto on isokokoiset astrosyytit, joidenka ulokkeet mekaanisesti tukevat hermosoluja. Astrosyytit myös huolehtivat hermosolujen kemiallisesta tasapainosta ja toimivat ravinto- ja kuona-aineiden välittäjänä. Hermosolut eroavat muista elimistön soluista rakenteellisesti ja toiminnallisesti niin, että niillä on ohuita haarakkeita, jotka ovat erikoistuneet johtamaan hermoimpulsseja eli aktiopotentiaaleja. (Sand ym. 2015, 104–106.) Hermosolu koostuu tuojahaarakkeista, viejähaarakkeesta sekä solukeskuksesta, jossa sijaitsee hermosolun tuma sekä muut soluelimet. (Derrickson & Tortora 2009, 418, 421.)

4.1 Keskushermosto

Ihmisen aivoissa on noin 10^{11} hermosolua ja kymmenkertainen määrä gliasoluja. Hermosoluja on satoja erilaisia ja niitä voidaan luokitella niiden rakenteen ja toiminnan sekä niiden tuottamien hermovälittäjäaineiden perusteella. Hermosoluilla on tyypillisesti useita eri tuojahaarakkeita eli dendriittejä ja yksi viejähaarakke eli aksoni. (Salminen 2015a, 165–166.)

Dendriittien välityksellä hermosolu vastaanottaa signaaleja muilta soluilta, aksonit puolestaan välittävät viestejä hermosolun solukeskuksesta eli soomasta muille soluille. Aksonit voivat olla jopa metrin pituisia, ihmisen pisimmät aksonit ulottuvat varpaista selkäyttimeen. Aksonit hermottavat kohdesolujaan hermoimpulssien välityksellä. Hermoim-

pulssi etenee aksonista kohdesoluun synapsin eli liitoskohdan kautta yleensä kemiallisesti. Kemiallisessa siirtymässä signaalia tuova hermosolu tuottaa hermovälittäjäainetta, jonka kohdesolu tunnistaa. Osa hermoimpulsseista kulkeutuu synapsissa sähköisesti aukkoliitosten kautta, missä niitä kuljettavat ionit ja muut pienet molekyylit. (Salminen. 2015a, 167.) Hermosolun rakenne ja impulssin kulkusuunta solussa on havainnollistettu kuvassa 1.



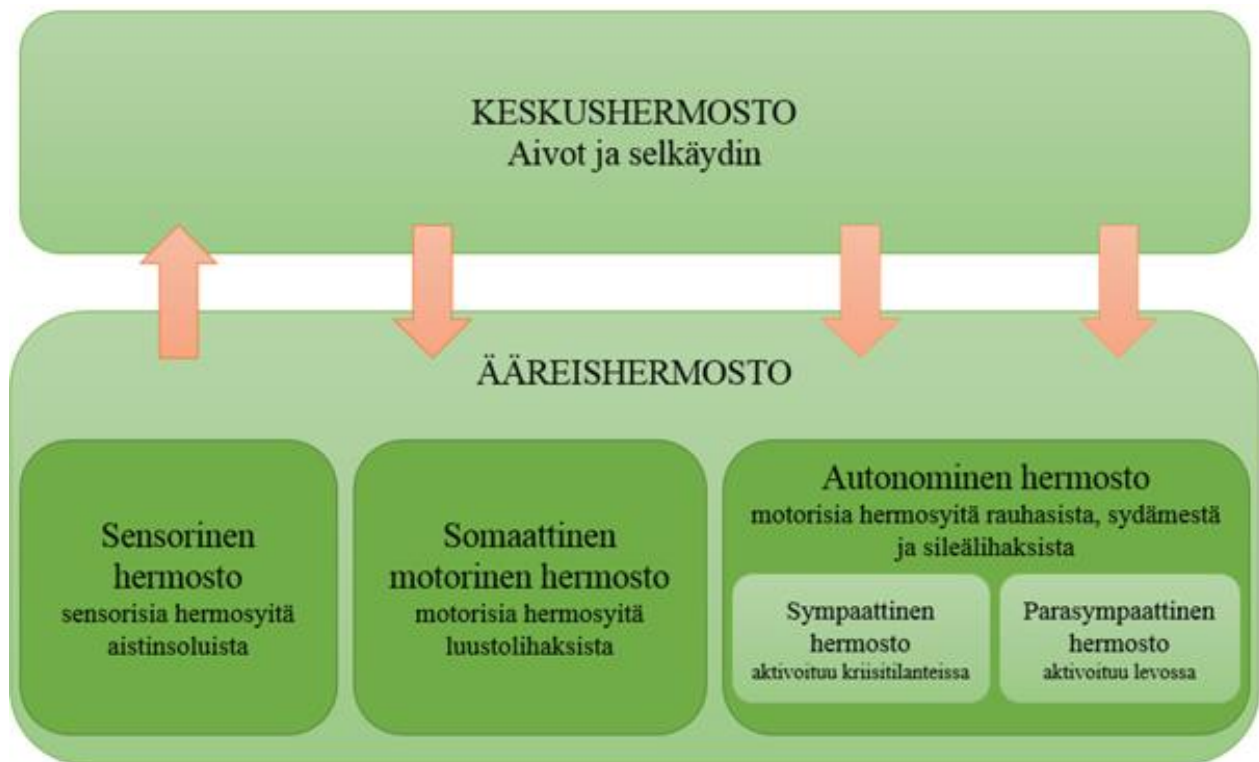
KUVA 1. Hermosolun rakenne (Otavan Opisto 2015, muokattu.)

4.2 Ääreishermosto

Ääreishermosto voidaan jakaa kolmeen osaan: sensoriseen, somaattiseen motoriseen sekä autonomiseen hermostoon. Sensorinen hermosto koostuu tuntohermosoluista, jotka herrottavat aistinsoluja ja välittävät tietoa muun muassa kuulo- ja näköaistimuksista. Somaattinen motorinen hermosto puolestaan ohjaa luustolihaksia. Autonominen hermosto hallitsee sileälihaksia, sekä sydämen ja rauhasen toimintaa. Autonominen hermosto voidaan jakaa sympaattiseen ja parasympaattiseen hermostoon. (Sand ym. 2015, 106.) Kuvassa 2 on kuvattu hermoston eri osien välisiä suhteita.

Parasympaattinen hermosto aktivoituu levossa ja saa muun muassa ruuansulatuselimistön toiminnan kiihtymään ja verenkierron hidastumaan. Sympaattinen hermosto aktivoituu kriisitilanteissa, jolloin vastaavasti verenkierto vilkastuu ja ruuansulatus hidastuu katekoliamiinien vaikutuksesta. (Lääketieteen sanasto 2016a; 2016b.) Sympaattinen hermosto vastaa kehon taistele-pakene -reaktiosta, sillä aktivoituessaan fyysisen tai psyykkisen stressin seurauksena se nostaa kehon valppaustasoa. Tyypillisiä fysiologisia muutoksia

tässä tilanteessa ovat muun muassa sykkeen nouseminen, hengityksen tihtyminen, pupillien laajentuminen sekä suun kuivuminen. Parasympaattinen hermosto toimii sympaattisen hermoston vastavaikuttajana ja sen ollessa aktiivinen keho säästää ja varastoi energiaa tehokkaammalla ruuansulatuksella. (Derrickson & Tortora 2009, 547-548.)



KUVA 2. Hermoston rakenne (Airaksinen & Kuusisalo 2016)

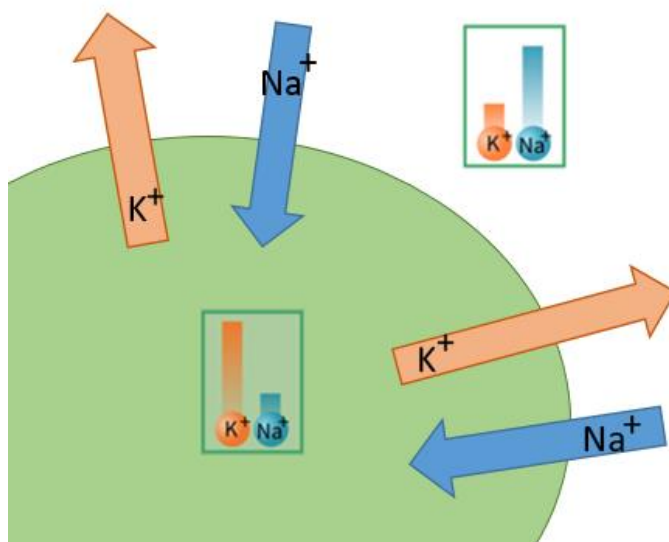
Aksonit muodostavat usein hermosyökkimppuja, joita keskushermostossa kutsutaan hermoradoiksi. Ääreishermoston puolella, missä ne hermottavat esimerkiksi luustolihasia, niitä kutsutaan hermoiksi. (Sand ym. 2015, 105.) Aksonit voivat olla myelinisoituneita tai paljaita. Myeliinituppi on tärkeä hermosolun toiminnalle ja häiriöt myeliinin tuotannossa johtavat usein hermoston toimintahäiriöihin, jotka voivat ilmetä esimerkiksi vapinana. Muun muassa MS-taudissa eli keskushermoston pesäkekovettumataudissa myeliiniä vaurioituu paikallisen tulehdusprosessin myötä, mikä aiheuttaa taudille ominaisia liikunta- ja toimintakyvyn rajoitteita. (Salminen 2015b, 168.)

4.3 Aktiopotentiaalit

Hermoimpulssin eli aktiopotentiaalin voi laukaista esimerkiksi aistiärsytys, muiden solujen synapsiärsykkeet tai solukalvon spontaanit sähköpurkaukset. Aktiopotentiaalin synty hermosoluissa on aina samanlainen, mutta sen johtuminen myeliinitupellisessa hermosolussa on nopeampaa kuin paljaassa hermosolussa. (Sand ym. 2015, 107.)

Normaalissa hermosolussa kalvojännite on lepotilassa 60mV, mikä on solun lepopotentiaali. Lepopotentiaali syntyy solukalvojen välisestä jännitteestä, kun solun sisällä on negatiivisesti varautuneita ioneita, ja solun ulkopuoli on positiivisesti varautunut. Tätä polarisaatioita ylläpitävät natrium-kaliumpumpput. Hermosolujen sisällä on noin 30 kertaa suurempi määrä kaliumioneita kuin sen ulkopuolella, natriumioneita on puolestaan enemmän hermosolun ulkopuolella. (Brodal 2004a, 26–27, 30.)

Ärsyke voi muuttaa solun polarisoitumista avaamalla ionikanavia, jolloin positiivisesti varautunutta natriumia pääsee solun sisälle. Tämä tasoittaa jännite-eroa hetkellisesti, eli aiheuttaa depolarisaation. Depolarisaatiossa natrium virtaa solun ulkopuolelta solun sisälle, sillä natriumpitoisuus on solun ulkopuolella korkeampi. Kaliumia on puolestaan korkeampi pitoisuus solun sisäpuolella, joten se virtaa avautuneesta ionikanavasta solun ulkopuolelle (kuva 3). Depolarisaatio etenee kohta kohdalta hermosolua eteenpäin tapahtumasarjana, jota kutsutaan aktiopotentiaaliksi. (Brodal 2004b, 135–136.)



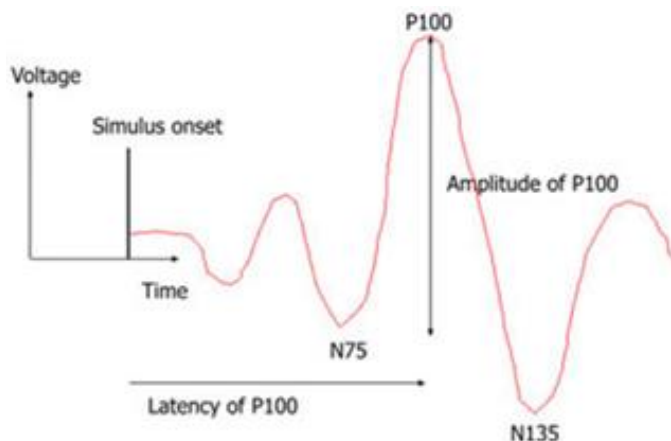
KUVA 3. Depolarisaatio (Airaksinen & Kuusisalo 2017a)

5 HERÄTEPOTENTIALIAALI

Hermoston sensoriset reseptorit vastaanottavat jatkuvasti ärsykeitä ja välittävät tietoa niistä aistiratoja pitkin sähköimpulsseina keskushermostoon, luoden herätepotentiaaleja. (Nyrke 2006, 242.) Herätepotentiaaleja mitataan EEG-rekisteröinnillä samalla kun potilaalle annetaan aistiärsykeitä. Samaa ärsykettä toistetaan tutkimuksesta riippuen 10–2000 kertaa peräkkäin, sillä yksittäisen aistiärsyksen aiheuttama vaste aivokuoren sähköisessä toiminnassa on mahdotonta havaita aivokuoren spontaanin toiminnan aiheuttamista EEG-signaaleista. (Vanhatalo & Soinila 2015.)

Herätepotentiaalit piirtyvät erikokoisina ja -muotoisina peräkkäisinä aaltoina, jotka menevät limittäin (kuva 4). Vasteen piirtyessä näyttöruudulle, voidaan siitä mitata yksittäisen aallon latenssi- eli viipymäaika sekä amplitudi, joka kuvaa vasteen voimakkuutta. Latenssilla tarkoitetaan aikaa, joka kuluu aallon alusta sovittuun kohtaan, usein joko aallon pohjaan tai huippuun. Latenssiarvot riippuvat siitä, mitä vastetta ollaan mittaamassa. Esimerkiksi kuuloradasto tuottaa vasteita muutaman millisekunnin latenssilla kun taas vaativampaan kognitiiviseen päättelyyn osallistuva radasto vaatii useita satoja millisekunteja. (Nyrke 2006, 247.)

Amplitudi on aallonhuipun korkeus tai aallonpohjan syvyys ilmaistuna jännitteenä. Se kuvaa aktivoituneiden solujen määrää. Amplitudin mittaukseen tarvitaan vertailutaso, yleensä joko toiminnan keskimääräinen jännitetaso tai mitattavaa aaltoa edeltävän aallonhuipun tai –pohjan jännitearvo. (Nyrke 2006, 247–248.)



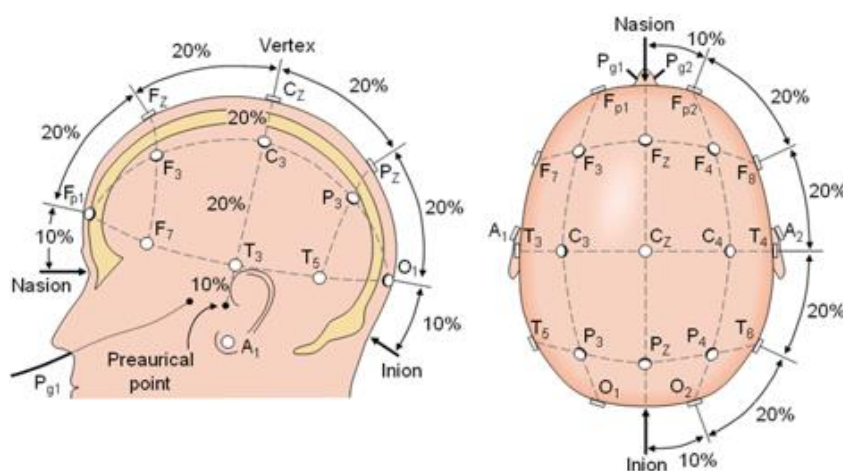
KUVA 4. Visuaalinen herätepotentiaali, latenssi ja amplitudi (AnaesthesiaUK 2005, muokattu)

5.1 Herätevastetutkimuksen laitteisto ja -mittaus

Eri herätevasteiden mittaukseen käytettävät ärsyke- ja mittaussparametrit poikkeavat toisistaan paljon. Kaikkien herätevastetutkimuksien suorittamiseen tarvitaan kuitenkin stimulaattori, elektrodeja, vahvistin, suodatin, digitaalinen signaalinkäsittelylaite, tallennuslaite ja näyttö. (Nyrke 2006, 250–251.)

Stimulaattori valitaan aina tutkittavan herätevasteen perusteella, eli esimerkiksi kuuloradastoa tutkittaessa annetaan kuuloärsyke kuulokkeiden kautta. Stimulaattori antaa vakioitua ärsykkeen, sillä ärsyksen ominaisuudet vaikuttavat suuresti rekisteröintitulokseen. Esimerkiksi näköärsyksen merkityksellisiä ominaisuuksia ovat sen väri, muoto, etäisyys, voimakkuus ja toistotaajuus. (Nyrke 2006, 250.)

Elektrodeina herätevastetutkimuksissa voidaan käyttää tavallisia EEG-elektrodeja, silloin kun ne asetetaan iholle. (Nyrke 2006, 250.) Erona on ERG-mittaus, jossa käytetään myös silmän pinnalle asetettavaa korneaalista linssiä tai lankaelektodia. (KNF-yksikkö 1999.) Rekisteröintielektrodit asetetaan tutkittavan vasteen mukaan vakioituihin kohtiin ja paikat tarkastetaan mittanauhalla. Elektrodiin kiinnittämisessä pyritään alle 5 k Ω :n impedanssiin. (Nyrke. 2006, 250.) Pään alueelle asetettavat elektrodit kuulo- ja näkövasteita tutkittaessa asetetaan usein kansainvälisen 10-20 järjestelmän mukaan, kuten kuvassa 5. (Vanhatalo & Soinila. 2007, 85.)



KUVA 5. EEG-elektrodien asettaminen 10-20 järjestelmässä (NeurologicLabs 2016, muokattu)

Elektrodijohdot kiinnitetään tutkimuslaitteen kytkentäpaneeliin (kuva 6), jossa sijaitsee signaalin vahvistin ja suodatin sekä näytteistysyksikkö. (Nyrke 2006, 251.) Vahvistin muuntaa elektrodien lähettämät signaalit analogisesta digitaaliseen muotoon ja suodattimen avulla voidaan poistaa häiritseviä taajuuksia. (American Society Clinical Neurophysiology 2006.) Näytteistämällä tarkoitetaan signaalin siirtämistä tietokoneelle digitaalisessa muodossa, jolloin se ei ole altis sähkömagneettisille häiriöille ja sitä voidaan tietokoneella jatkokäsitellä. Nykyiset laitteet kalibroivat stimulaattorin ja mittauspiirin automaattisesti sekä tarkistavat elektrodien impedanssit. (Nyrke 2006, 251.)



KUVA 6. Cadwellin 12-kanavainen kytkentäpaneeli. (Cadwell 2016b, muokattu.)

Mittauselektrodit asetetaan potilaalle pään alueelle, vakioituihin kohtiin halutun tutkimuksen mukaan. Tuntoherätteitä mitattaessa elektrodeja asetetaan myös solisluukuoppiin, C2- ja C7-nikamien sekä selän alueelle. (Pohjois-Karjalan sairaanhoito- ja sosiaalipalvelujen kuntayhtymä 2011; HUS Kuvantaminen 2017c.) Herätevastetutkimukset voivat olla potilaalle lievästi kivuliaita, mutta vaarattomia, eikä niissä ole viivästyneen komplikaation riskiä. (KNF-laboratoriot 2017.)

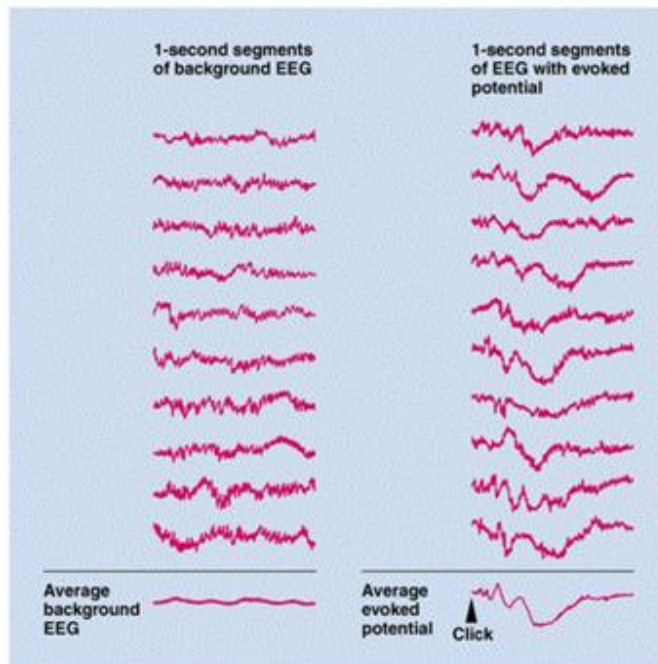
Mittauksen aikana potilas on puoli-istuvassa tai makuuasennossa, lihasjännitystä tulee välttää. Auditiivisia herätteitä tutkittaessa potilaalle annetaan kuulokkeiden kautta ääniärsyksiä, joiden vasteita mitataan päälle asetetuilla elektrodeilla. (HUS Kuvantaminen. 2017a.) Potilaan korvakäytävät tulisi olla puhtaat, sillä korvavaikun aiheuttama kuulon madaltuma voi vääristää tuloksia. (Etelä-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri 2016d.)

Somatosensorisia herätevasteita mitattaessa potilaalle annetaan sähköärsykykeitä nilkan tai ranteen alueelle ja vasteet mitataan pään alueelle sekä solisluukuopan tai selänalueelle asetetuilla elektrodeilla. (HUS Kuvantaminen 2017c.) Hiusten sekä raajojen ihon tulisi olla puhtaana, jotta elektrodit saavat paremman kontaktin. (Etelä-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri 2016c.)

Visuaalisia vasteita tutkittaessa mittauselektrodit asetetaan kallon takaosaan, näköaivo-kuoren päälle, ja vertailuelektrodi otsalle. Näköärsykkeenä käytetään vaihtuvaa shakki-ruudukkoa, jonka keskellä on piste, johon tutkittavan tulee kohdistaa katseensa. (HUS Kuvantaminen. 2017b.) Myös näköherätteitä tutkittaessa potilaan hiusten tulisi olla puhtaat ja kuivat. Jos potilaalla on silmälasit, suoritetaan tutkimus niitä käyttäen. Potilaan tulee olla yhteistyökykyinen ja valpas, jotta katseen kohdistus onnistuu. (Etelä-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri. 2016b.)

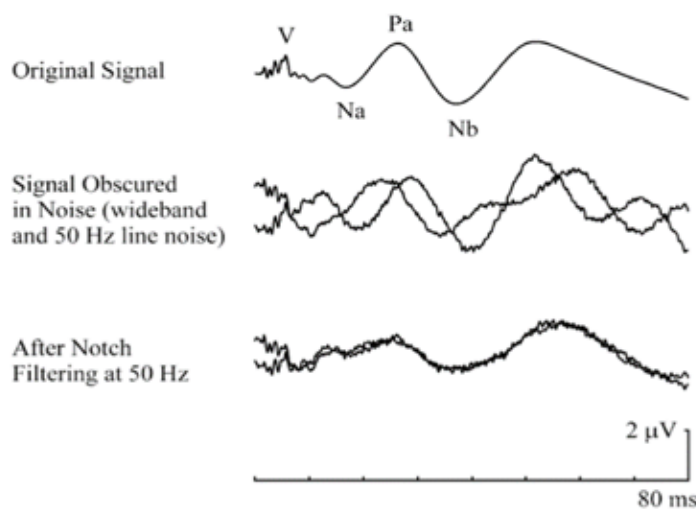
5.2 Herätevasteet ja niiden käsittely

Herätevastesignaalia vahvistetaan ja suodatetaan, sillä se muuten häviäisi aivokuoren spontaanin toiminnan EEG:n ja muun kohinan joukkoon. Vaste ei erotu riittävän tarkasti kohinasta edes suodatuksen jälkeen, joten sen esille saamiseksi käytetään signaalinkäsittelymenetelmiä. Eniten käytetty käsittelymenetelmä on signaalin keskiarvoistus (averaging), joka on esitetty kuvassa 7. Siinä jännitevaihtelu mitataan usean ärsykkeen jälkeen ja kaikkien ärsykkeiden tuottamista jännitemuutoksista lasketaan mittausjakson keskiarvo. Tällöin ärsykkeeseen liittymätön ja satunnaisesti muuttuva kohina saadaan osittain poistettua. (Nyrke 2006, 251.)



KUVA 7. Auditiivisen herätevasteen keskiarvoistus. Keskiarvoistamalla monta vastetta saadaan vähennettyä muun EEG:n kohinaa. (Methods of Studying the Nervous System 2016, muokattu.)

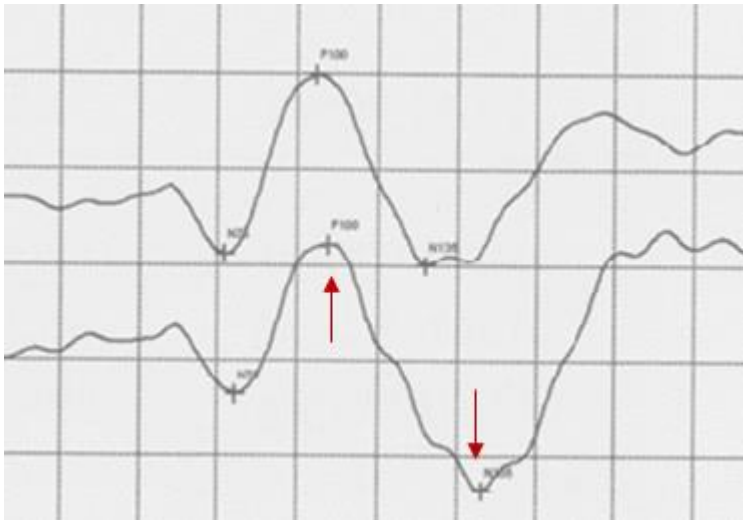
Nykyään on yhä yleisempää käsitellä saatuja käyriä digitaalisilla ohjelmistoilla, jotka suodattavat ennalta-asetettujen parametrien mukaan korkeataajuisia kohinaa pois mitaustuloksista ja poistavat näin häiriöitä (kuva 8). On kuitenkin huomioitava, että filttien käyttäminen myös muuttaa vasteiden morfologiaa ja usein pienentää lievästi amplitudeja. (Picton 2010, 31-32)



KUVA 8. Kuvassa käytetty Notch-filtteriä VEP-vasteeseen. Häiriöiden suodattaminen on madaltanut Pa-aallon huippukohtaa. (Picton 2010, 32, muokattu.)

Tutkimuksen jälkeen saadusta vastekäyrästä tunnistetaan laboratoriokohtaisesti standardoidun menetelmän mukaan määritellyt kohdat, yleensä aaltojen huippu- ja pohjakohdat. Aaltojen merkinnän suorittaa alustavasti hoitaja tietokoneen kursorilla, jolloin ohjelmisto tallentaa kyseisen kohdan latenssin ja amplitudin. (Nyrke 2006, 255.) Lääkäri voi vielä halutessaan muokata markkereiden paikkoja. (KNF-yksikkö 2016.) Markkerit näkyvät kuvassa 9, nuolien osoittamilla paikoilla.

Markkerien lisäksi aallot nimetään yleensä polariteetin, eli negatiivisen tai positiivisen varauksen, ja järjestysnumeron mukaan. Järjestysnumerot, esimerkiksi P1, N1 ja P2, kuvaavat mikä elektrodipari vasteen on muodostanut. Aallot voidaan nimetä myös polariteetin ja yleismaailmallisen eli kirjallisuuteen perustuvan verrokkiryhmän latenssin mukaan, esimerkiksi N9, N20 ja P23. (Nyrke 2006, 255.)



KUVA 9. Vasteeseen on merkattu markkereilla aaltojen huippu- ja pohjakohdat (UBM Institute 2016, muokattu).

5.3 Herätevasteiden tulkinta ja viitearvot

Tulosten alustavaa analyysiä tekee hoitaja jo rekisteröintivaiheessa, sillä syntyneiden vastesten tulee olla toistettavia, jotta niitä voidaan käyttää kliinisessä päätöksenteossa. Jos käyrät eroavat toisistaan merkittävästi ja mahdolliset artefaktalähteet on poistettu, on syytä ottaa uusinta mittauksia. (Nyrke 2006, 257.)

Laboratorio määrittää aina omat viitearvonsa, sillä ärsykkeiden ominaisuudet ja käytetyt suodattimet vaikuttavat saatuun vasteeseen. Saatuja mittaustuloksia verrataan laboratorion omiin viitearvoihin. Potilaan iän ja vasteen muuttujien välillä on yleensä korkea korrelaatio, joten ikä tulee ottaa huomioon viitearvoja laadittaessa. Myös sukupuoli ja rakenteelliset erot saattavat vaikuttaa vasteisiin. Varsinkin tuntovasteita mitattaessa tulee ottaa huomioon myös potilaan pituus ja visuaalisia vasteita tutkittaessa potilaan näkökyky. Kliinisesti merkittävänä muutoksena pidetään vähintään 2,5:n tai 3:n keskihajonnan suurista poikkeamaa vertailuarvossa. Poikkeamissa latenssi yleensä pitenee ja amplitudi pienenee tai aalto voi kokonaan puuttua. Vasteen muotoa ei kvantifioida, mutta sen arviointi vaatii ammattitaitoa ja varovaisuutta. Potilaan toisen puolen ollessa terve, käytetään sitä viitearvona toiselle puolelle. Normaalisti vasteissa ei ole suuria puolieroja, joten mittauksen kliininen osuvuus paranee huomattavasti kun potilasta käytetään itsensä vertailukohtana. (Nyrke 2006, 257.)

5.4 Mittauksen häiriötekijät ja virhelähteet

Eksogeenisiin herätepotentiaaleihin (auditiiviset, visuaaliset sekä somatosensoriset vasteet) ei vaikuta psykologiset tekijät kuten tarkkaavaisuuden suuntaaminen. Se sijaan ärsykkeen fysikaaliset muutokset vaikuttavat eksogeenisiin herätevasteisiin usein hyvin paljon, joten ärsykkeen ominaisuudet tulee vakioda. Endogeenisiin herätepotentiaaleihin psykologiset tekijät, kuten ärsykkeen ajattelu, voi vaikuttaa. (Nyrke 2006, 242, 250.)

Potilaan liikkuminen, silmien räpyttely ja johtojen tai elektrodien huono kiinnitys aiheuttaa helposti suuriakin jännitteen vaihteluita, mikä voi pilata koko rekisteröinnin. Lihaskännitys häiritsee aaltojen tunnistamista. (Nyrke 2006, 254, 306.) Potilaasta johtuvia muita virhelähteitä ovat muun muassa verenpaineen, lämpötilan ja hiilidioksiditason vaihtelu. Hypoksia eli vähentynyt hapen saanti, verenvuoto sekä tietynlaisten lääkkeet kuten anestesia-aineet voivat myös vaikuttaa tulosten luotettavuuteen. (Puolakka 2008.)

Yksittäisiä suuria häiriöpiikkejä ei pysty eliminoimaan edes keskiarvoistamisen avulla. Useissa mittalaitteissa on tästä syystä artefaktarajoitin, joka pysäyttää mittauksen hetkellisesti, jos jännite yllättäen muuttuu ennalta asetettua raja-arvoa enemmän. Näin häiriölliset EEG-pätkät eivät tule mittaukseen mukaan. Laite jatkaa mittausta automaattisesti, kun häiriö, esimerkiksi potilaan liike, lakkaa. (Nyrke 2006, 254.)

5.5 Herätevastetutkimuslaite Cadwell Cascade Sierra® Summit

Cadwell on vuonna 1979 perustettu yhdysvaltalainen yritys, joka tuottaa muun muassa ENMG- ja EEG-laitteita kliinisen neurofysiologian mittauksiin. (Cadwell 2016a.) Sen valmistama Cascade Sierra® Summit on ENMG-laite eli elektroneuromyografisiin tutkimuksiin valmistettu laite, jota voidaan käyttää monikanavaisen herätevastemittaukseen. Cascadeen voidaan liittää jopa 12-kanavainen vahvistin. (Cadwell 2016b.)

Kliinisen neurofysiologian yksikössä on käytössä Cadwell Cascade Sierra® Summit 6-kanavaisella vahvistimella, joka on esitetty kuvassa 10. Cascade-laitteella tehdään kliinisen neurofysiologian laboratoriossa neljää erityyppistä herätevastetutkimusta: VEP-, ERG-, AEP- sekä SEP-tutkimuksia.



KUVA 10. Sierra® Summit laitteisto (Cadwell 2016b, muokattu)

Herätevastemittauslaitteisto on useasti sijoitettu liikuteltavaan kärryyn, joka toimii ergonomisena työtasona. Sierra® Summit –laitteella työskentely tapahtuu pääsääntöisesti tietokoneen kautta, joka on osoitettu kuvassa 10 nuolella numero 1. Herätevastesignaalit kulkeutuvat kytkentäpaneelin (kuva 10, nuoli numero 2), vahvistimen ja suodattimen kautta tietokoneelle, josta hoitaja voi ohjata tutkimuksen kulkua. Tietokoneella hoitaja

tutkimuksen aluksi syöttää potilastiedot ja valitsee tutkimusprotokollan. Tutkimuksen aikana hoitaja voi seurata vasteen muodostumista ja merkata aaltojen huippu- ja pohjakohdat. (KNF-yksikkö 2016)

Signaalien valintaa ja merkkausta voi suorittaa myös laitteeseen kuuluvalla ohjausyksiköllä (base unit), joka sijaitsee tietokoneen alapuolella (kuva 10, nuoli numero 3). Ohjausyksikössä on myös pikavalintanäppäimiä ja nappipainikkeita, joilla voi säätää mittaasetuksia. (Cadwell 2016b.)

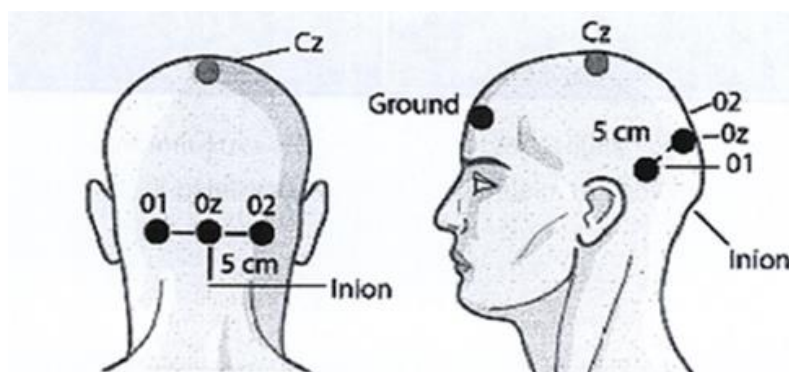
KytKentäpaneeliin kiinnitetään elektrodipihuat, jotka ovat kiinni potilaan mittauselektrodeissa. KytKentäpaneelistä hoitaja näkee suoraan elektrodien impedanssin, eli ovatko elektrodit asettuneet hyvin potilaan iholle. KytKentäpaneelissa palaa vihreä valo elektrodin kohdalla, jos sen impedanssi on asetettujen raja-arvojen sisällä. (KNF-yksikkö 2016)

6 HERÄTEVASTETUTKIMUKSET

Herätevasteet jaetaan alaryhmiin sen mukaan, mihin aistiin ärsyke kohdistuu. Yleisimmin tutkittuja herätepotentiaaleja ovat eksogeeniset herätepotentiaalit eli näköradaston tuottamat visuaaliset, aivorungon kuuloradaston tuottamat auditiiviset ja tuntoradaston tuottamat somatosensoriset herätevasteet. (Nyrke 2006, 242–243.)

6.1 Näköherätteet

Visual Evoked Potential eli VEP-tutkimuksella selvitetään näköhermoradaston poikkeavaa toimintaa. Tämän tutkimuksen tärkeimpiä käyttöaiheita ovat näköhermon sairaudet, kuten näköhermon tulehdus sekä aivosairaudet, esimerkiksi multipeliskleroosi eli MS-tauti. Näön huononeminen, näkökenttäpuutos ja silmän valoilmiöt ovat usein tutkimuksen syynä. (Nyrke 2006, 286.) Kontraindikaationa näköherätevastetutkimuksille on potilaan heikko yhteistyökyky sekä valoärsykkeen aiheuttama kohtausherkeyys. (Pohjois-Karjalan sairaanhoito- ja sosiaalipalvelujen kuntayhtymä 2011) Kuvassa 11 on esitetty mittaus-elektrodien sijoittelu VEP-tutkimuksissa.



1 Ch Montage:

Channel 1:

Active:

Oz

Reference:

Cz

3 Ch Montage:

Channel 1:

Active:

O1

Reference:

Cz

Channel 2:

Oz

Cz

Channel 3:

O2

Cz

Ground on forehead.

KUVA 11. Elektrodien sijoittelu VEP-tutkimuksissa (KNF 2016, muokattu.)

6.1.1 Kuvio-VEP (Pt-VEP)

Kuvio-VEP-tutkimus suoritetaan hämärässä huoneessa potilaan ollessa puoli-istuvassa asennossa. Ärsykkeenä käytetään tietokoneruudulla näkyvää shakkiruudukkoa, missä vaaleat ja tummat ruudut vaihtavat paikkaa kerran sekunnissa. Shakkiruudukko on havainnollistettu kuvassa 12. Potilaan tulee tarkkailla shakkiruudukon keskellä olevaa fiksaatiopistettä koko otoksen ajan. Rekisteröintiä varten pääläelle ja takaraivolle asetetaan pinta-elektrodeja, kuten kuvassa 11. (Nyrke 2006, 273-275.)

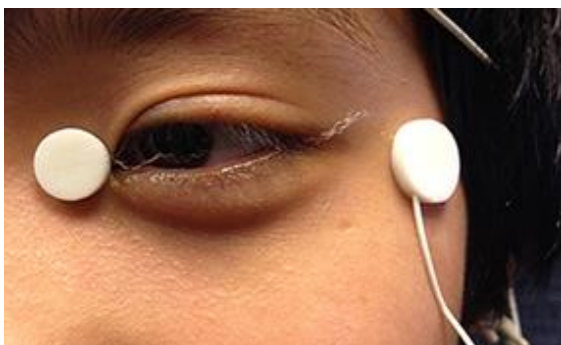
Puolikenttätutkimusta käytetään, kun halutaan vertailla aivopuoliskojen toimintaa keskenään. Ärsyke voidaan kohdistaa joko molempiin silmiin tai yhteen silmään kerralla, jossa toinen silmä peitetään ja kummastakin silmästä tutkitaan erikseen näköhermon toimintaa. (Nyrke 2006, 281.) Tutkimus vaatii potilaalta hyvää keskittymiskykyä sekä hyvää näöntarkkuutta. (Vanhatalo & Soinila 2015.)



KUVA 12. Kuvio-VEP:ssä ärsykkeenä on muuttuva shakkiruudukko (Ebenezer 2011, muokattu).

6.1.2 Elektroretinografia (Pt-ERG)

Elektroretinografia- eli ERG-tutkimuksella selvitetään silmän verkkokalvon toimintaa. Tutkimus perustuu lyhytaikaisen välähdyksen aiheuttamaan nopeaan potentiaalimuutokseen, jonka avulla pyritään selvittämään mahdollisen häiriön luonnetta ja laajuutta sekä sen esiintymistä. Yhdistettynä VEP-tutkimukseen, ERG-tutkimus antaa tärkeää tietoa näköradan häiriöistä. Tutkimuksessa voidaan määrittää, onko häiriö kohdistunut sauva- tai tappisoluihin vai molempiin. (Nyrke 2006, 292.)



KUVA 13. Silmän pinnalle asetettava lankaelektrodi (Drack Research 2017, muokattu).

ERG-tutkimus suoritetaan pimennetyssä ja sen jälkeen normaalisti valaistussa huoneessa. Aluksi silmän mustuaiset laajennetaan silmätipoilla, minkä jälkeen silmän pintaan laite-
taan lankaelektrodi ja silmäkulmaan referenssielektrodi. Lankaelektrodi ja tarrakiinnitys
kuvassa 13. Potilaan tulee olla pimeässä huoneessa vähintään puoli tuntia ennen rekiste-
röintiä. Tutkimuksessa käytetään sekä heikkoja että voimakkaita ärsykeitä, joita an-
ne-
taan lyhytkestoisinä valonvälähdyksinä. (Etelä-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri 2016a.)

6.2 Kuuloherätteet (Pt-AEP)

Auditory Evoked Potentials eli AEP-tutkimuksella selvitetään kuulojärjestelmän toimin-
taa ja sen häiriötä. AEP-tutkimus on aiheellinen, kun epäillään esimerkiksi perifeeristä tai
sentraalista kuulorataauriota. (Nyrke 2006, 258, 262.) Perifeerinen kuulorataaurio joh-
tuu tasapainohermoston viasta ja sentraalinen kuulorataaurio johtuu keskushermoston
viasta. (Korpela & Niemensivu. 2014.) AEP-tutkimus voidaan tehdä myös tajuttomalle
potilaalle. (Vanhatalo & Soinila 2015.)

AEP-tutkimuksessa mittauselektrodit asetetaan korvan taakse, mastoid-luun päälle.
Elektrodien sijainnit on havainnollistettu kuvassa 14. Ärsykkeinä toimivat lyhytkestoiset
ääniärsykkeet, piippaukset, joita tulee noin kymmenen kertaa sekunnissa. (Vanhatalo &
Soinila 2015.) Yhtä otosta varten keskiarvoistetaan 2000 vastetta. Tutkimus uusitaan tois-
tettavuuden varmistamiseksi. (Nyrke 2006, 262.)



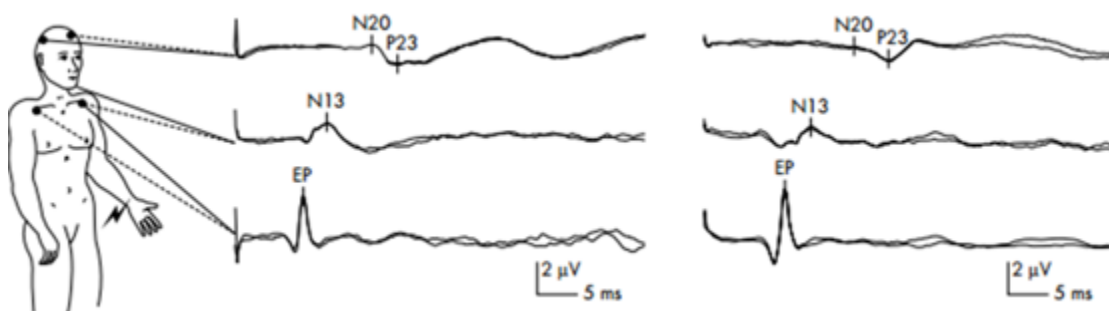
KUVA 14. Elektrodien sijainti BAEP-tutkimuksessa (KNF 2016, muokattu.)

6.3 Tuntoherätteet (Pt-SEP)

Somatosensoristen herätevasteiden eli SEP-tutkimuksen tarkoituksena on kartoittaa keskushermoston tuntohermoratojen toimintaa. Tutkimuksessa selvitetään, miten tuntohermoimpulssit kulkevat raajoista tuntoaivokuorelle asti. SEP-tutkimuksessa ihon pinnalle ja päänahkaan kiinnitetään pieniä pintaelektrodeja ja anestesiassa oleville potilaille neulaelektrodeja. Käsien ja jalkojen ääreishervoja aktivoidaan pienin sähköärsykkein ja näin rekisteröidään syntyvien hermoimpulssien kulkua. (Mehiläinen 2015.) SEP-tutkimus voidaan tehdä myös tajuttomalle potilaalle, jolloin voidaan arvioida potilaan ennustetta. (Vanhatalo & Soinila 2015.)

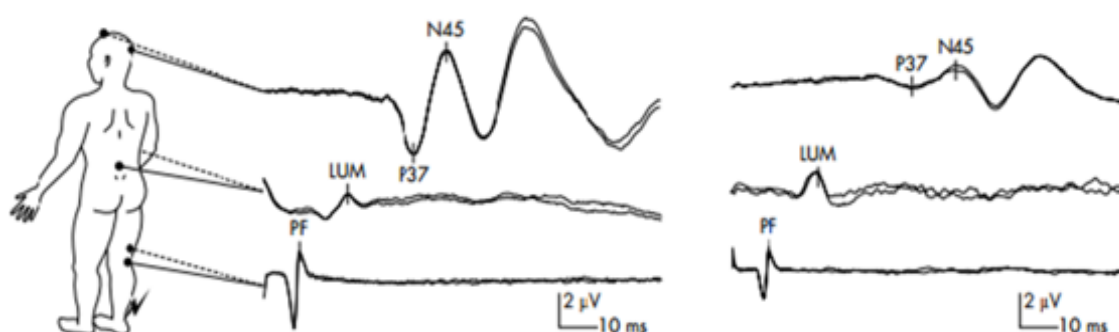
6.3.1 Yläraaja-SEP (Pt-SEP-Yr) ja Alaraaja-SEP (Pt-SEP-Ar)

Yläraajan SEP-tutkimuksessa vasteet rekisteröidään erbin pisteestä ja vastakkaiselta aivokuorelta. Elektrodien sijainnit on havainnollistettu kuvassa 16. Yläraajatutkimuksessa tavallisimmin stimuloidaan keskihermoa ranteesta. (Nyrke 2006, 306-307.) Yläraaja-SEP-tutkimus kestää noin tunnin valmisteluineen. (Etelä-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri 2016a)



KUVA 16. Elektrodiin sijainti ja normaalit vasteet yläraaja-SEP:ssä (Walsh ym. 2005, muokattu).

Alaraajan SEP-tutkimuksessa vasteet rekisteröidään polvitaiteesta, lantion alueelta ja aivokuorelta. Elektrodiin sijainnit on havainnollistettu kuvassa 15. Alaraajatutkimuksessa tavallisimmin stimuloidaan säärihermoa nilkasta. (Nyrke 2006, 306-307.) Alaraajan-SEP-tutkimus kestää noin kaksi tuntia. (Etelä-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri 2016a)



KUVA 15. Elektrodiin sijainti ja normaalit vasteet alaraaja-SEP:ssä (Walsh ym. 2005, muokattu).

Elektrodeina voidaan käyttää mitä tahansa tavanomaista EEG-elektrodia, mutta tehosastolla sekä leikkaussaleissa voidaan käyttää neulaelektrodeja. Neulaelektrodit eivät kuitenkaan sovellu pitkäaikaiseen monitorointiin. (Nyrke 2006, 306.)

7 TYÖOHJEEN LAATIMINEN

Työohje sisältää tiedon työtehtävän eri vaiheista, joita työntekijä seuraa työskennellessään. Ohjeen tulee sisältää työn kannalta olennaisimmat asiat, jotka auttavat työntekijää suorittamaan tehtävänsä. Työohjeiden tulee olla ajan tasalla ja sisältää oikeaa tietoa, sillä puutteelliset työohjeet saattavat johtaa esimerkiksi huonoon työnlaatuun tai jopa laitteen rikkoutumiseen. (Highet 2006.)

Hyvä työohje on tavallisesti kirjallisessa muodossa. Sen tulee olla helppolukuinen, johdonmukainen, ajantasainen ja työntekijän saatavilla. Kun työohje on toimiva, työntekijät työskentelevät sujuvammin. (Highet 2008.) Työohje suunnitellaan etukäteen ja sitä varten kerätään tarvittavaa tietoa. Kun kohderyhmä on tiedossa ja tietoa on riittävästi, voidaan lähteä kirjoittamaan työohjetta. Ohjeen laatijan on hyvä miettiä sitä, millä tavoin teksti aloitetaan. Aloitusteksti kuitenkin kertoo lukijalle sen, mitä asioita ohje käsittelee ja mitä se sisältää. (Nissi 2009.)

Hyvä työohje rakennetaan työntekijän tarpeiden mukaan. On otettava selvää, mitä tietoja ja neuvoja työntekijä tarvitsee. Tämän tiedon pohjalta laaditaan työohje, joka sisältää havainnollistavia kuvia sekä mahdollisimman yksinkertaisia, mutta keskeisiä ohjeita. Havainnollisuus, yksinkertaisuus ja selkeys ovat asioita, joita tulee miettiä työohjetta laadittaessa. (Moisio 2010.)

Tavallisesti työohjeen ulkonäön suunnittelee laatija itse, jos ei toimeksiantajalla ole erityisiä vaatimuksia ulkonäön suhteen. Työohjeen laatimisessa tulee huomioida tekstin tasapainoisuus sekä silmäiltävyys. Tekstin silmäiltävyyden pitää olla hyvää, sillä lukija päättää tämän perusteella, jatkaako hän ohjeen lukemista. Silmäiltävyyteen vaikuttavat esimerkiksi kuvat ja otsikot. Ulkoasun suunnittelussa yleisesti huomioon otettavia asioita ovat muun muassa kirjasintyyppin käyttö. Tekstissä tulee käyttää enintään kolmea erilaista kirjasintyyppiä ja viittä eri kirjasinkokoa. Näiden tulee selkeästi erottua toisistaan. Tekstissä on hyvä käyttää myös marginaaleja sekä harvahkoja rivivälejä. Sopiva riviväli on 1,5 kertaa kirjasimen nimelliskorkeus. Jos tekstissä käytetään suuraakkosia, niitä on hyvä käyttää vain pääotsikoissa. Lihavointia, kursivointia ja korosteita käytetään vain vähän ja

perustellusti. Hyvässä työohjeessa on katseelle joka aukeamalla kiinnekohtia. Kiinnekohtia voivat olla esimerkiksi kuvat, väliotsikot, sisennykset ja luettelmat. Kiinnekohdilla annetaan tärkeiden asioiden tulla tekstistä esiin. (Nykänen 2002, 176-177.)

Kuvien käyttö työohjeissa on tärkeää, sillä kuvat havainnollistavat ja täydentävät tekstiä. Kuvien tulee olla selkeitä ja pelkistettyjä sekä aineiston sisältöä tukevia. On hyvä muistaa, että kuvilla on aina tarkoitus. Hyvä ja selkeä kuva on yleensä lähikuva, joka tuo esiin kohteen piirteet. Myös värit tulee huomioida, sillä liian kirkas väri saattaa ärsyttää tai liian tumma väri voi tehdä kuvista epäselviä. (eOpettaja 2017.)

8 OPINNÄYTETYÖPROSESSI

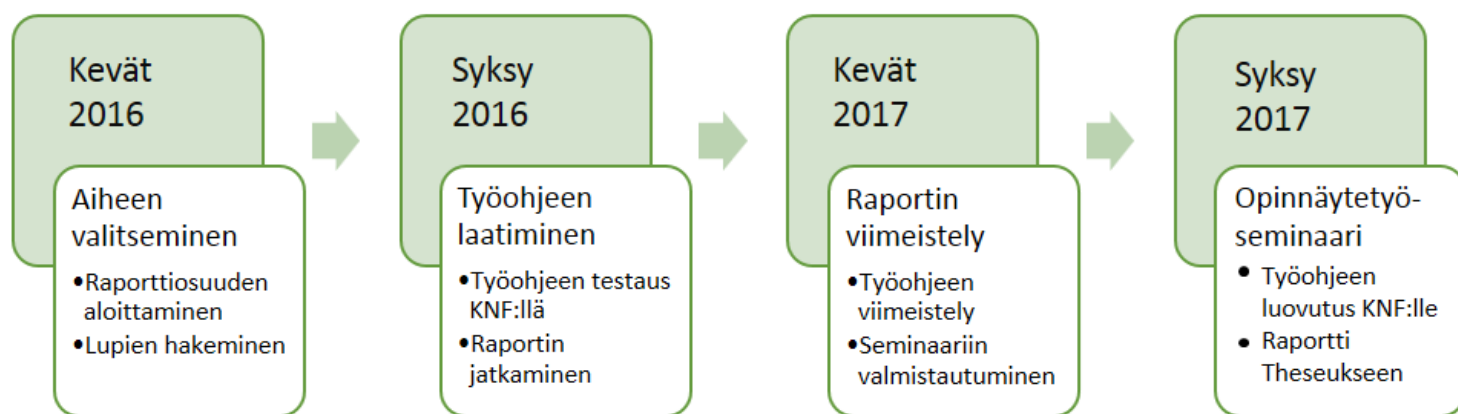
Opinnäyteprosessimme alkoi maaliskuussa 2016, kun saimme aiheemme klinisen neurofysiologian yksiköltä. Tiesimme jo ennen aiheiden valintaa, että haluamme tehdä opinnäytetyömme neurofysiologian alalta, sillä se kiinnostaa meitä molempia. Opinnäytetyöprosessimme alkoi työsuunnitelman tekemisellä, jossa rajasimme käsiteltävän aihealueen ja teimme alustavan aikataulutuksen.

Opinnäytetyösuunnitelmaa tehdessämme kävimme tapaamassa työelämän ohjaajaamme ja tutustumassa TAYS:n KNF-yksikköön. Ohjaajaltamme saimme tietoa KNF-yksikön toiminnasta, sekä siitä, millaisia toiveita heillä oli työohjeen toteuttamisen suhteen. Toinen meistä pääsi myös kokemaan oikean VEP-tutkimuksen potilaan asemassa, samalla kun toinen seurasi tutkimuksen suorittamista.

Kevään 2016 aikana etsimme mahdollisimman paljon lähdemateriaalia ja aloitimme kirjoittamaan raporttiosiota. Syksyllä jatkoimme raporttiosiota ja saimme sen melkein valmiiksi. Teimme KNF:ltä saamamme materiaalin perusteella työohjeesta raakaversion, jonka toimitimme työelämälle testattavaksi neurofysiologian harjoittelujaksojen aikana. Työohje oli kaksi viikkoa heidän testattavanaan, jonka jälkeen saimme heiltä palautetta sen toimivuudesta ja ehdotuksia jatkotyöstämiseen.

Keväällä 2017 viimeistelimme työohjetta ja testautimme sen uuden version KNF:llä. Muokkasimme työohjetta saamamme palautteen mukaan. Korjasimme virheellisen tai vanhentuneen tiedon ohjeista, lisäsimme kuvia kohtiin, joihin henkilökunta koki niitä tarpeelliseksi ohjeiden selkeyden kannalta sekä lisäsimme tietoa muun muassa elektrodien sijoittelusta. Lopullisen version työohjeesta kävi läpi KNF:n fyysikko, joka tarkasti ohjeen tietojen oikeellisuuden. Korjasimme ohjeeseen vielä muutaman uuden päivityksen koskien laitteen käyttöä ja paransimme kieliasua.

Opinnäytetyöposterin teimme syksyllä 2017 ja osallistuimme vuosikurssimme opinnäytetyöseminaareihin elo-syyskuussa 2017. Opinnäytetyömme esittelimme opinnäytetyöseminaarissa 1.9.2017. Kuvassa 16 on yhteenvedettynä koko opinnäytetyöprosessin eteneminen.



KUVA 16. Opinnäytetyöprosessin eteneminen. (Airaksinen ja Kuusisalo. 2017b.)

8.1 Tuotoksen kuvaus

Opinnäytetyömme tuotoksena valmistui 23 sivuinen työohje herätevastetutkimuksille. Työohje on perinteisessä kirjallisessa muodossa KNF:n toiveesta. Kirjoitimme sen mahdollisimman selkeällä fontilla ja harvalla rivivälillä, jotta sen ohjeiden seuraaminen on helpompaa. Käytimme leipätekstissä kirjasinkokoa 12 ja isommissa otsikoissa kokoa 16. Riviväli on 1,5. Otsikoimme selkeästi eri vaiheet tutkimuksen suorittamisesta ja sisällysluettelosta pystyy helposti siirtymään haluamaansa tutkimukseen sivunumeron perusteella. Sisällysluettelon jälkeen käymme lyhyesti läpi laitteen perustoiminnot. Käsittelemme tutkimus kerrallaan AEP-, VEP- ja SEP-tutkimusten suorittamisen. Tekstin tukena on havainnollistavia kuvia, joihin merkitsimme nuolilla tai palloilla tärkeimpiä huomioita.

Kävimme itse kuvaamassa tutkimuslaitetta, jolle työohjeen teimme. Oikean käytössä olevan laitteen kuvaaminen varmistaa, että kuvamme ovat johdonmukaisia käytännön tutkimuksen suorittamisen kanssa. Pyrimme myös siihen, että kuvat ovat visuaalisesti selkeitä ja miellyttävästi aseteltu tekstin lomaan niin, että ne korreloivat hyvin kirjallisten ohjeiden kanssa.

Veimme raakaversion työohjeesta testattavaksi KNF:lle kahdesti. Henkilökunnalla oli molemmilla kerroilla kaksi viikkoa aikaa tarkastaa ja koekäyttää työohjetta. Henkilökunnan palautteen pohjalta muokkasimme työohjetta ja korjasimme mahdollisia virheitä. Lopullisen tarkastuksen työohjeen tietojen oikeellisuudesta teki vielä KNF:n fyysikko.

9 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli koota työohjeet herätevastetutkimuksien suorittamiseen kliinisen neurofysiologian työntekijöille. Neurofysiologian yksikössä eri ihmiset, muun muassa fyysikot, olivat jo tehneet alustavasti pieniä osioita työohjeesta. Haasteemme oli yhdistää eri ihmisten tärkeäksi kokemat kohdat ohjeistuksesta ja luoda uusi johdonmukaisempi työohje valmistajan käyttöoppaan avustuksella.

Työohjeen kokoamisen lisäksi kirjoitimme teoriaosuutemme herätevastetutkimusten suorittamisesta ja yleisemmällä tasolla ihmisen hermoston toiminnasta. Herätevastetutkimusten teoriasta oli hankala löytää tuoretta tietoa, sillä neurofysiologian alan perusteos jota käytimme paljon, on päivitetty vuonna 2006. Hermoston toiminnasta tietoa oli puolestaan erittäin laajasti, ja siitä kirjoittaessa joutui miettimään enemmän aihealueen rajasta. Spesifisenä tieteenalana neurofysiologian termistö oli aluksi vierasta ja opinnäytetyöprosessimme alkoi lähinnä siihen tutustumalla.

Aloitimme kirjoittamaan opinnäytetyön kirjallista osuutta jo keväällä 2016. Olimme suunnitelleet, että saamme kirjallisen osuuden valmiiksi seuraavana syksynä ja käyttäisimme kevään 2017 työohjeen laatimiseen ja opinnäytetyöposterin tekemiseen. Aikataulumme piti erittäin hyvin eikä opinnäytetyön kirjoittaminen aiheuttanut missään vaiheessa suurempaa stressiä. Suunnitelmiemme mukaan saimme myös vietyä raakaversion työohjeesta testattavaksi neurofysiologian yksikölle. Yhteydenpito työelämäohjaajaamme sujui helposti sähköpostin välityksellä ja välillä kävimme paikan päällä KNF:llä keskustelemassa.

Neurofysiologian yksikön työntekijät kävivät työohjetta läpi ja antoivat meille palautetta, jonka pohjalta pystyimme kehittämään siitä paremmin heidän käyttöönsä soveltuvan työohjeen. Työohjeen ensimmäisessä versiossa emme kertoneet lainkaan elektrodien asettamisesta potilaaseen tai muista esivalmisteluista. Työntekijöiden toiveesta lisäsimme työohjeeseen myös tietoa tästä sekä elektrodijohtojen kytkennästä kytkentärasiaan. Jatkuva yhteistyö KNF:n työntekijöiden kanssa ja yksikön fyysikolta saamamme palaute parantaa työmme luotettavuutta, sillä työohje on oikoluettu ja tarkastettu mahdollisten virheiden varalta useasti.

Olemme pyrkineet koko opinnäytetyöprosessin ajan noudattamaan hyvää tutkimusetiikkaa ja hyvää tieteellistä käytäntöä. Tutkimuseettisissä lähtökohdissa arvioidaan tutkimushankkeen valinnan, tutkimuksen suorittamisen ja tutkimustulosten julkaisun aiheuttamia hyötyjä ja haittoja. (Liikanen 2009, 19-20.)

KNF halusi työohjeen perinteisessä paperisessa muodossa, mutta työohjeen visuaalisessa toteutuksessa saimme vapaat kädet. Pyrimme tekemään siitä mahdollisimman selkeän käyttämällä yksinkertaista fonttia ja jättämällä tarpeeksi suuret rivivälit. Keväällä 2017 kävimme kuvaamassa herätevastetutkimuksissa käytettävää ENMG-laitetta ja otimme näyttökuvia tutkimuksen eri vaiheista. Kuvien avulla työohjetta on helpompi seurata ja ne havainnollistavat paremmin esimerkiksi tutkimuslaitteiston eri osia. Työntekijöiden toiveesta lisäsimme työohjeeseen vielä lisää kuvia tietyistä työvaiheista sen jälkeen, kun he olivat koekäyttäneet sitä.

Työohje on tehty pelkästään TAYS:n KNF-yksikön työntekijöiden käyttöön, eikä sitä julkaista theseuksessa. Työohjeen päivitysoikeudet ovat KNF-yksiköllä. Jatkossa työohjetta voisi laajentaa tekemällä ohjeistuksen myös ERG-tutkimuksen suorittamisesta. Emme työohjeessa käsitelleet lainkaan ERG-tutkimuksia, sillä rajasimme työohjeen aihealueen AEP-, VEP- ja SEP-tutkimuksiin alkupalavereissa työelämäohjaajamme kanssa.

Onnistuimme hyvin opinnäytetyöprosessimme aikatauluttamisessa ja työn etenemisen suhteen ei ollut missään vaiheessa suurempia ongelmia. Yhteistyömme raportin kirjoittamisessa ja työohjeen laatimisessa sujui kitkattomasti. Satunnaisesti molempien aikataulujen yhteensovittaminen oli haastavaa muun muassa eri paikkakunnilla asumisen takia. Jälkikäteen ajateltuna olisimme ehtineet vielä laatia työohjeet myös ERG-tutkimukselle, vaikka aluksi luulimme sen tekevän aiheesta liian laajan.

Kaiken kaikkiaan olemme tyytyväisiä varsinkin kirjoittamaamme raporttiosioon, sillä olimme paljon sitä tehdessämme ja siitä tuli mielestämme hyvä kokonaisuus. Työohjeen visuaalisesta ilmeestä emme saaneet varsinaisesti kommentteja KNF:ltä, joten jäimme miettimään olisiko meidän pitänyt tarkemmin kysellä henkilökunnalta mielipiteitä. Pidämme kuitenkin itse työohjetta selkeänä ja mahdollisten asiavirheiden suhteen työohje on moneen kertaan luotettavien tahojen toimesta tarkastettu.

LÄHTEET

Airaksinen, J. & Kuusisalo, A. 2016. Hermoston rakenne. 03.05.2016.

Airaksinen, J. & Kuusisalo, A. 2017a. Depolarisaatio. 10.05.2017.

Airaksinen, J. & Kuusisalo, A. 2017b. Opinnäytetyöprosessin eteneminen. 07.08.2017.

American Society Clinical Neurophysiology. 2006. Guidelines on Evoked Potentials1. Luettu 23.08.2017. <https://www.acns.org/pdf/guidelines/Guideline-9A.pdf>

AnaesthesiaUK. 2005. Evoked potentials. Julkaistu 20.07.2005. Luettu 03.05.2016. <http://www.frca.co.uk/article.aspx?articleid=100499>

Brodal, P. 2004a. Functional Properties of Neurons. The Central Nervous System: Structure and Function. Oxford: Oxford University Press.

Brodal, P. 2004b. The Translation of Stimuli to Action Potentials. The Central Nervous System: Structure and Function. Oxford: Oxford University Press.

Cadwell. 2016a. About Cadwell. Luettu 04.05.2016. <https://www.cadwell.com/about/>

Cadwell. 2016b. Cadwell Sierra Summit. Luettu 03.05.2016. <https://www.cadwell.com/summit/>

Derrickson, B. & Tortora, G. 2009. The Autonomic Nervous System. Principles of Anatomy and Physiology. Aasia: John Wiley & Sons, Inc.

Drack Research. 2017. Electroretinography. Luettu 12.05.2017. <http://www.drackresearch.com/ERG>

Ebenezer. 2011. Having an Evoked Potential Test. Luettu 04.05.2016. <http://www.fair-viewebenezer.org/HealthLibrary/Article/83314>

eOpettaja. 2017. Kuva. Luettu 23.08.2017. <https://www.kamk.fi/Verkko-oppimisen-tyokalupakit/eOpettaja/Tuottaminen-ja-testaus/Sisaltojen-havainnollistaminen/Kuva>

Etelä-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri. 2016a. Elektroretinografia (ERG). Julkaistu 03/2016. Luettu 10.05.2017. [http://www.epshp.fi/files/5059/Elektroretinografia_\(ERG\).pdf](http://www.epshp.fi/files/5059/Elektroretinografia_(ERG).pdf)

Etelä-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri. 2016b. Näkörajojen tutkimus (VEP). Julkaistu 03/2016. Luettu 12.05.2017. [http://www.epshp.fi/files/5072/Nakoratojen_tutkimus_\(VEP\).pdf](http://www.epshp.fi/files/5072/Nakoratojen_tutkimus_(VEP).pdf)

Etelä-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri. 2016c. Tuntohermoratojen sähköinen tutkimus (SEP). Julkaistu 03/2016. Luettu 10.05.2017. [http://www.epshp.fi/files/5077/Tuntohermoratojen_sahkoinen_tutkimus_\(SEP\).pdf](http://www.epshp.fi/files/5077/Tuntohermoratojen_sahkoinen_tutkimus_(SEP).pdf)

Etelä-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri. 2016d. Kuuloratojen ja aivorungon sähköinen tutkimus (BAEP). Julkaistu 03/2016. Luettu 12.05.2017. [http://www.epshp.fi/fi-les/5066/Kuuloratojen_ja_aivorungon_sahkoinen_tutkimus_\(BAEP\).pdf](http://www.epshp.fi/fi-les/5066/Kuuloratojen_ja_aivorungon_sahkoinen_tutkimus_(BAEP).pdf)

Highet, D. 2006. Work Instructions – How to Develop Effective Work Instructions. Julkaistu 07/2006. Luettu 04.05.2016. http://www.grizmo.com/management_news_200607.html

Highet, D. 2008. Work Instructions That Work. Julkaistu 10/2008. Luettu 04.05.2016. http://www.grizmo.com/management_news_200810.html

HUS. 2016. Herätevastetutkimukset. Luettu 03.05.2016. <http://www.hus.fi/sairaanhoito/kuvantaminen-ja-fysiologia/tietoa-tutkimuksista/heratevastetutkimukset/Sivut/default.aspx>

HUS Kuvantaminen. 2017a. Akustinen aivorunkoherätevastetutkimus (BAEP). Päivitetty 12.01.2017. Luettu 12.05.2017. <https://huslab.fi/ohjekirja/1609.html>

HUS Kuvantaminen. 2017b. Visuaalinen herätevastetutkimus (VEP), kokokenttätutkimus. Päivitetty 12.01.2017. Luettu 12.05.2017. <https://huslab.fi/ohjekirja/1613.html>

HUS Kuvantaminen. 2017c. Somatosensorinen herätevastetutkimus (SEP), yksi hermo. Päivitetty 12.01.2017. Luettu 12.05.2017. <https://huslab.fi/ohjekirja/1612.html>

KNF-laboratoriot. 2017. Herätevastetutkimukset. Luettu 12.05.2017. <http://www.knf.fi/palvelut/heratevaste.htm>

KNF-yksikkö. 1999. Elektroretinografia (ERG). Julkaistu 01.11.1999. Luettu 03.05.2016. <http://www.epshp.org/kotisivut/knf/ohje/erg.html>

KNF-yksikkö. 2016. Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitos, TAYS. 26.04.2016.

Korpela, J. & Niemensivu, R. 2014. Huimauksen syyn selvittäminen. Potilaan lääkäri-lehti. Julkaistu 17.12.2014. Luettu 10.5.2017. <http://www.potilaanlaakarilehti.fi/artikkelit/huimauksen-syyn-selvittaminen/>

Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitos. 2016. Luettu 03.05.2016. <http://www.kuvantamiskeskus.fi/>

Liikanen, E. 2009. Kliininen laboratoriotiede. Tampere. Gaudeamus Helsinki University Press.

Lumme, R., Leinonen, R., Leino, M., Falenius, M. & Sundqvist, L. 2006. Monimuotoinen / toiminnallinen opinnäytetyö. Julkaistu 05.08.2006. Luettu 11.10.2016. <http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojak-sot/030906/1113558655385/1154602577913/1154670359399/1154756862024.html>

Lääketieteen sanasto. 2016a. Parasympaattinen hermosto. Duodecim. Luettu 11.10.2016. http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=ltt02499

Lääketieteen sanasto. 2016b. Sympaattinen hermosto. Duodecim. Luettu 11.10.2016. http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=ltt03351

Mehiläinen. 2015. SEP-tutkimus. Luettu 03.05.2016. https://www.mehilainen.fi/terveyspalvelut/palvelut/419/sep_tutkimus

Methods of Studying the Nervous System. 2016. Luettu 04.05.2016. <http://academic.uprm.edu/~ephoebus/id83.htm>

Moisio, J. 2010. Ohjeet ihastuttavat tai vihasuttavat. Luettu 04.05.2016. <http://laatumat-kalla.fi/2010/12/ohjeet-ihastuttavat-tai-vihasuttavat/>

Mäkinen, O. 2005. Tieteellisen kirjoittamisen ABC. Helsinki: Tammi.

NeurologicLabs. 2016. Overview of EEG. Luettu 11.10.16. <http://neurologiclabs.com/neuromonitoring/eeg/>

Nissi, U. 2009. Mitä ohjeen laatijan pitää ottaa huomioon? Julkaistu 16.10.2009. Luettu 04.05.2016. <http://www2.amk.fi/digma.fi/eetu/www.amk.fi/opintojak-sot/030905/1116425173436/1117079857643/1117089079959/1117094587251.html>

Nykänen, O. 2002. Toimivaa tekstiä. Opas tekniikasta kirjoittaville. Helsinki: Painotalo Miktor.

Nyrke, T. 2006. Herätepotentiaalien fysiologiset ja metodiset perusteet. Teoksessa Partanen, J., Björn, F., Hasan, J., Jäntti, V., Salmi, T. & Tolonen, U. (toim.) Kliininen neurofysiologia. Helsinki: Duodecim.

Otavan Opisto. 2015. Hermosolun rakenne. Luettu 03.05.2016. http://opinnot.internetix.fi/fi/materiaalit/bi/bi4/3_ihmisen_fysiologia_ja_anatomia/19_hermosolu_rakenne_ja_toiminta?C:D=1531169&m:selres=1531169

Picton, T. 2010. Human Auditory Evoked Potentials. Plurar Publishing.

Pohjois-Karjalan sairaanhoito- ja sosiaalipalvelujen kuntayhtymä. 2011. Herätevastetutkimukset, menetelmäohje. Luettu 12.05.2017. http://www.pkssk.fi/documents/601237/620668/Her%C3%A4tevastetutkimukset_menetelm%C3%A4ohje.pdf/93ab211d-219c-4430-8261-8d7d65f24914

Puolakka, P. 2008. Finnanest. Herätevasteet kraniotomioissa ja spinaalikirurgiassa. Luettu 04.05.2016. http://finnanest.fi/files/heratevasteet_puolakka.pdf

Sand, O., Sjaastad, Ø., Haug, E. & Bjälle J. 2015. Ihminen fysiologia ja anatomia. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Salminen, M. 2015a. Keskushermosto. Teoksessa Sariola, H., Frilander, M., Heino, T., Jernvall, J., Partanen, J., Sainio, K., Thesleff, I. & Wartiovaara, K. (toim.) Kehitysbiologia. Solusta yksilöksi. Helsinki. Kustannus Oy Duodecim.

Salminen, M. 2015b. Ääreishermosto. Teoksessa Sariola, H., Frilander, M., Heino, T., Jernvall, J., Partanen, J., Sainio, K., Thesleff, I. & Wartiovaara, K. (toim.) Kehitysbiologia. Solusta yksilöksi. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.

UBM institute. 2016. ERG. Luettu 11.10.16. <http://ubminstitute.com/investigations/ERG.html>

Vanhatalo, S. & Soinila, S. 2015. Duodecim Oppiportti. Herätevastetutkimukset. Julkaistu 31.07.2015. Luettu 12.05.2017. http://www.oppiportti.fi/op/neu00021/do?p_haku=her%C3%A4tevastetutkimukset#q=herätevastetutkimukset

Vanhatalo, S. & Soinila, S. 2007. Kliinisen neurofysiologian tutkimukset. Teoksessa Soinila, S., Kaste, M. & Somer, M. (toim.) Neurologia. Helsinki: Duodecim.

Vilkka, H. & Airaksinen, T. 2003. Toiminnallinen opinnäytetyö. Jyväskylä: Tammi.

Walsh, P., Kane, N. & Butler, S. 2005. The Clinical Role of Evoked Potentials. US National Library of Medicine, National Institutes of Health. Luettu 11.10.2016. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1765695/pdf/v076p0ii16.pdf>